

高标准农田过滤反渗透技术研究

于宏文^{1,2}, 于良^{1,2}, 韩秀华^{1,2}

1. 山东农业工程学院, 山东 济南 250100

2. 山东北方现代化学工业有限公司, 山东 济南 250033

DOI: 10.61369/SDME.2025330035

摘 要： 高标准农田建设是保障国家粮食安全、推动农业现代化创新发展的重要举措。水资源高效运用与水质优化是高标准农田建设的核心环节。作为精准水处理的核心技术之一，过滤反渗透技术在污水处理、咸水淡化、农田灌溉水质净化等场景下具有广阔的应用前景。对此，本文围绕高标准农田过滤反渗透技术进行深入研究，结合农业生产实际问题，提出行之有效的优化策略，旨在为助力高标准农田建设提供一些参考和借鉴。

关 键 词： 高标准农田；过滤反渗透技术；膜污染

Research on Filtration and Reverse Osmosis Technology for High-Standard Farmland

Yu Hongwen^{1,2}, Yu Liang^{1,2}, Han Xiuhua^{1,2}

1. Shandong Agriculture and Engineering University, Jinan, Shandong 250100

2. Shandong North Modern Chemical Industry Co., Ltd., Jinan, Shandong 250033

Abstract： The construction of high-standard farmland is an important measure to ensure national food security and promote the innovative development of agricultural modernization. The efficient use of water resources and water quality improvement are core links in the construction of high-standard farmland. As one of the core technologies for precision water treatment, filtration and reverse osmosis technology has broad application prospects in sewage treatment, salt water desalination, water quality purification for farmland irrigation and other scenarios. In view of this, this paper conducts an in-depth study on filtration and reverse osmosis technology for high-standard farmland, and puts forward effective optimization strategies combined with practical problems in agricultural production, aiming to provide reference for boosting the construction of high-standard farmland.

Keywords： high-standard farmland; filtration and reverse osmosis technology; membrane fouling

引言

随着我国农业领域的飞速发展，高标准农田建设的重要性日益凸显，已经成为破解水资源约束、保障国家粮食安全的重要抓手。根据《全国高标准农田建设规划（2021—2030年）》数据，到2030年，我国将建成12亿亩高标准农田^[1]。然而，在农业实践过程中，水资源匮乏、水质不佳等问题依旧是限制高标准农田建设的主要难题。部分地区农田灌溉用水存在污染物含量超标、盐分超标等问题，这将对农作物的生长以及粮食安全产生直接影响。传统农田水处理技术往往存在一定局限，如能耗较大、操作复杂、净化效率不高等，难以满足高标准农田对水质的需求。在此背景下，过滤反渗透技术应用就显得尤为重要。该技术具有拦截率高、能耗低等优势，逐渐成为解决农田灌溉水质问题的主要技术手段。本文基于高标准农田建设需求，深入分析反渗透技术的应用原理，针对高标准农田中应用反渗透技术过程中存在的问题，提出行之有效的改善建议，以期为推动高标准农田建设、促进我国现代化农业发展提供参考。

一、高标准农田过滤反渗透技术的核心原理

过滤反渗透技术是一种基于膜分离技术的水处理技术，其核心原理是通过外界压力驱动，使水分子通过半透膜，而水中的重金属离子、悬浮物等则难以通过渗透膜被截留，从而实现水质的净化^[2]。具体来讲，当在渗透膜的进水侧施加一个大于溶液渗透压的力时，根据渗透的基本原理，水分子会突破渗透压的阻碍，渗

透到膜的另一侧，从而形成相对纯净的渗透液。由于水中各种污染物的分子直径较大或电荷特性，导致其难以通过膜孔，被截留在进水侧。在高标准农田应用场景中应用过滤反渗透技术，这样做能够有效剔除农田灌溉水中的盐分、重金属离子、污染物等物质，净化水质，进而为农作物生长提供良好的生长环境。同时，该技术的核心还体现在膜材料的性能上，优质的反渗透膜具有耐污染、高水通量、长寿命等特点，这将会对整个过滤系统的经济

成本、处理质量产生直接影响。

二、高标准农田过滤反渗透技术应用中的主要问题

（一）膜污染问题

过滤反渗透技术在高标准农田中应用面临的首要问题是膜污染问题，主要是指水中的污染物在膜表面或膜孔位置发生吸附、沉积，导致膜通量下降、分离效率降低等现象，从而影响水质优化质量^[3]。农田灌溉用水中存在大量物质，如悬浮物、微生物、胶体等，这些物质极易造成膜污染，从而对膜的使用寿命、透水性以及分离率等造成影响。

（二）能耗过高问题

反渗透技术是一种压力驱动型技术。高压泵需要耗费大量电能产生操作压力，使水离子突破渗透压限制，这往往需要耗费大量经济成本。在高标准农田应用场景中，由于农田灌溉需求量较大，并且部分农田处于偏远山区，电力资源匮乏，能耗过高问题格外凸显。

（三）设备适配性不足

高标准农田具有低成本、分散性等特点，然而，现有的反渗透设备适配性不足，缺乏农业场景专项设计，难以满足高标准农田建设需求^[4]。具体来讲，首先，处理规模与农田需求不匹配。当前的反渗透设备主要是大规模集中设计，缺乏针对性，并且投资成本与运行成本较高，难以满足农田灌溉需求。其次，设备结构与安装环境不适应。高标准农田灌溉区域大多在户外，设备长时间处在露天环境中，由于缺乏防水、防尘、防冻等措施，极易损坏，稳定性不高。最后，操作较为复杂。反渗透设备需要专业人员进行操作。而农田操作人员大多为农民，他们专业素养不高，缺乏专业知识和技能，难以完成相关专业操作，并且极易产生操作不当、维护不及时等问题，从而影响水质优化效果。

（四）运维体系不完善

完善的运维体系是过滤反渗透技术稳定运行的重要前提^[5]。然而，在高标准农田应用场景中，由于高标准农田分布零散、缺乏运维人员、资金投放不足等原因，运维体系并不完善，难以定期开展故障排查、膜清洗以及设备维护等工作，导致水处理设备稳定性较差，严重影响过滤效果的提升。

三、高标准农田过滤反渗透技术优化策略

（一）完善膜技术理论，缓解膜污染问题

膜污染问题是影响过滤反渗透技术应用的核心瓶颈之一^[6]。可以从膜材料、预处理工艺以及清洗技术三个层面完善膜技术理论，以此有效解决膜污染问题，提升水质处理效果。

具体来讲，首先，改良膜材料。应结合高标准农田实际应用场景，研发适配农田灌溉水质特点的抗污染反渗透膜。可在膜表面涂覆亲水性涂层，以此提升膜表面的亲水性以及抗吸附能力，从而减少膜表面污染物的沉积；对膜的孔径结构及分布进行优化，提升膜的通量，以此提升膜污染容忍度；此外，还可以对膜

材料进行优化，选用陶瓷膜、聚偏氟乙烯等，增强渗透膜的化学稳定性以及机械强度，以此延长膜的使用寿命。其次，优化预处理工艺。根据高标准农田水质特点，可构建三维预处理体系，即“粗滤——精滤——消毒”体系。针对高浊度原水，可增加絮凝沉淀单元，通过投加聚合氯化铝、聚丙烯酰胺等环保型絮凝剂，去除原水中胶体、悬浮物等物质；针对有机物含量较高的原水，可采用活性炭吸附与超滤膜组合工艺，有效去除原水中的有机物；通过优化预处理工艺的方式，有效降低原水中污染物含量，从而为减少膜污染奠定基础。最后，创新清洗技术。根据高标准农田应用需求，应研发高效清洗技术，改良清洗药剂，以此提升清洗效率，及时去除膜表面附着的污染物，从而有效处理膜污染问题。

（二）优化能耗控制理论，降低运行成本

能耗过高问题是阻碍过滤反渗透技术在高标准农田应用的主要障碍之一^[7]。因此，需通过优化能耗控制理论，从设备节能、工艺优化与能源回收三个方面降低运行成本。在设备节能方面，可加大资源投入，研发适配高标准农田应用场景的节能设备，如变频高压泵等，以此提升能量转换率，降低能耗；同时还可以对膜组件设计进行优化，采用低压、大通量反渗透膜，以此降低操作压力需求，降低能耗；除此之外，还可以开发可再生能源，如风能、太阳能等，通过可再生能源的替代，以此降低能耗。在工艺优化方面，根据高标准农田对灌溉水质的实际需求，构建能耗与处理效果的平衡模型，通过对工艺参数进行调整，避免过度处理，从而减少能源损耗；可以采用分段处理工艺，针对污染程度不同的原水，采用不同的处理压力与膜组件，以此降低能耗。另外，可结合农业灌溉特点，优化设备运行调度，以此提升设备运行效率。能源回收方面，可以引入能量回收装置，回收压力能量，从而降低能耗。

（三）提升设备适配性，完善设备设计理论与农田场景的结合

提升设备适配性是推动过滤反渗透技术在高标准农田中应用的重要方式^[8]。对此，需要完善设备设计理论，提升设备与高标准农田的适配性，具体来讲，首先，在灌溉水处理规模方面，可根据高标准灌溉需求，开发不同类型的设备，从而更好地满足广大农户的不同需求。例如，针对小型经济主体，如家庭农场等，可开发便携式小型设备；针对大规模高标准农田区域，可开发集中式、模块化设备。其次，在结构设计适配方面，应根据高标准农田应用场景，优化设备结构和防护设计，以此满足不同灌溉需求。针对农田应用场景，可采用一体化集成设计，这样做，能够减少设备的占地面积，提升安装适配性。同时，针对户外应用场景，应加强防水、防尘、防冻设计，采用耐腐蚀材料，提升设备在户外环境中的稳定性，提升设备利用率。在设备便捷操作方面，还应积极开发智能化、自动化设备。用户一键操作，即可完成启动、运行、停机等过滤反渗透流程，降低操作门槛，提升设备操作适配性。

（四）完善运维体系理论，提升运维水平

完善的运维体系是确保过滤反渗透设备稳定运行的重要前

提^[9]。因此，有必要构建“技术培训－日常维护－售后服务”三维运维体系，提升运维水平，为高标准农田建设奠定基础。首先，在技术培训方面，应构建多层次培训体系。针对农田设备操作人员，可开展基础技术培训，如操作流程、故障检修、基础设备维护等；针对基层农业技术人员，可开展专业运维培训，提升其专业技术水平。除此之外，还可以与院校、科研机构等开展深入合作，培养专业运维人员。在日常维护方面，应结合实际应用场景，制定标准化、规范化维护流程，编制维护手册。同时制定维护档案，详细记录设备的运行状态等数据，为后续维护工作顺利开展奠定基础。在售后服务方面，构建完善的售后服务网络，完善售后服务链条，及时开展售后业务，减轻用户压力。

（五）优化成本控制理论，推动技术推广

成本问题也是限制过滤反渗透技术在高标准农田中应用的因素之一^[10]。对此，应优化成本控制理论，从设备研发、生产制造、政策支持三方面着手降低成本，推动高标准农田建设。

在设备研发方面，应推动产学研深度融合，针对高标准农田实际需求，研发低耗能、低成本的过滤反渗透组件和设备。例如，通过材料科学研究，研发出性能更加稳定的膜材料；优化组

件设计和生产工艺，提升膜的生产效率，降低生产成本。在生产制造方面，应构建科学、统一的行业生产标准，规范生产流程，以此提升生产效率，减少资源损耗。同时还可以引入先进的生产技术，提升生产精度和产品质量，降低人工成本。在政策支持方面，区域政府应加大对高标准农田过滤反渗透技术推广和应用的扶持力度，出台相关政策，如税收减免、制定高标准农田补贴机制等，以此推动高标准农田建设，鼓励企业加大技术创新和生产投入。同时，还可以为高标准农田建设项目提供金融助力，如免息贷款、金融担保等，以此缓解农户或农村经济体资金短缺问题。

四、结语

总之，过滤反渗透技术是一种高效的原水处理技术，将其应用在高标准农田水资源建设之中具有重要的现实意义。针对高标准农田建设过程中存在的膜污染、能耗过高、设备适配性不足等问题，可以采用优化能耗控制理论、提升设备适配性、完善膜技术理论等多种方式，将过滤反渗透技术的作用充分发挥出来，积极推动高标准农田建设，为守护粮食安全奠定坚实基础。

参考文献

[1] 汪海东. 西营河灌区滴灌技术在高效农田灌溉中的应用研究 [J]. 农业技术与装备, 2024, (11): 138-140.
[2] 曹立群, 王海荣. 污水处理中反渗透水处理设备的应用 [J]. 现代盐化工, 2024, 51(03): 110-112.
[3] 靳宏宇. 特异性酶清洁反渗透膜多糖污垢过程探究 [D]. 贵州大学, 2024.
[4] 李彩霞. 耐高温反渗透膜在化工废水处理中的性能与应用研究 [J]. 化纤与纺织技术, 2024, 53(05): 55-57.
[5] 李明吉. 离子型稀土矿浸出液反渗透膜富集过程抑垢行为研究 [D]. 北京有色金属研究总院, 2024.
[6] 王飞. 贵州罗甸县高标准农田建设中的生态保护措施及落实 [J]. 农业工程技术, 2023, 43(22): 59-60.
[7] 张建新, 任晓文. 疏勒河灌区高标准农田灌溉存在的问题及对策 [J]. 农业科技与信息, 2023, (06): 130-133.
[8] 李杰. 基于灌溉回归水再利用的农田排水暗管外包滤料的选型研究 [D]. 宁夏大学, 2023.
[9] 李杰, 王红雨, 王亚, 等. 基于回归水再利用的农田排水暗管外包滤料选型试验 [J]. 节水灌溉, 2022, (11): 18-25.
[10] 仇勇, 王建成, 徐恒柱, 等. 中小城市高标准农田建设研究及效果分析 [J]. 水利水电技术 (中英文), 2022, 53(S1): 488-491.